

ドイツに学ぶ 一次世代の物理教育

日本語解説

長崎総合科学大学

2017年3月21日

長崎総合科学大学 新技術創生研究所国際セミナー

「世界で活躍する技術者育成を目指して」

～ドイツに学ぶマイスター&研究者育成法～

ヨハナ・シュタッヘル教授 (Prof. Dr. Johanna Stachel)

原子核・素粒子物理学者。専門は高エネルギー原子核物理学。

超相対論的なエネルギー条件下における原子の衝突によって生成されるクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) の研究を行っている。1996年よりハイデルベルク大学にて教鞭を執る。

欧州原子核研究機構 (CERN) ALICE TRD プロジェクトリーダー (2000-)、ドイツ連邦教育研究省 (BMBF) ALICE 実験担当スポークスパーソン (2006-)、前ドイツ物理学会会長 (2012-2014)。

Talk is based on my background and experience in Germany

本講演は講演者のドイツ物理学会（Deutsche Physikalische Gesellschaft; DPG）での経験を基にしている。

本講演での主張は化石燃料や希少元素等の天然資源・手工業等に
従事する低賃金労働者・農業や観光等ではなく、現代技術とそれ
を扱う技能労働者による経済基盤を持つ日本のような社会を念頭
においている。

It is rather based on inventions and development related to modern technologies, skilled labor in high tech sector or even financial sector (cars, electronics, appliances...)
such as for instance Japan

なぜ学校での物理教育が重要なのか？

- Society needs physicists

- ・ 社会が物理学者を必要とするから

物理学者はどこで働くのか？

自明：

- the academic sector and research institutions
- research and development in industry
- manufacturing in businesses and industry
- 学術部門や研究機関
- education in schools and universities
- 企業の研究開発分野
- IT sector
- 企業の製造分野
- engineering
- 行政機関
- health sector
- 教育機関
- management
- patents
- financial sector
- media and journalism

広がりつつある：

- ・ IT 部門
- ・ 技術
- ・ 医療部門
- ・ コンサルタント
- ・ 経営
- ・ 特許
- ・ 金融
- ・ メディア・ジャーナリズム

物理学者はどこにでもいる

物理学者はどこで働くのか？

the obvious:

- the academic sector and research institutions
- research and development in industry
- manufacturing in businesses and industry

denominated
as "physicist"

- 学術部門や研究機関、企業の研究開発分野・製造分野で働く物理学者が一般に「物理学者」と呼ばれるが、物理学者は非常に広い分野で必要とされている。

- ドイツにおける物理学者の職場を割合で表すと、IT部門と技術で11%、「物理学者」と呼ばれない業種全体で78%を占めている。

- 言い換えると、「物理学者」として働いているのは物理学者全体の22%に過ぎない。

in Germany, only 22 % of people with physics degrees work as "physicists" as such
in southern Germany, physicists make up 0.37 % of all employed (in the north 0.2%)
14 % have a foreign nationality
only 2.5 % of physicists are out of jobs at any given time
(young people often in between jobs, not unemployed)

物理学者はどこで働くのか？

the obvious:

- the academic sector and research institutions
- research and development in industry
- manufacturing in businesses and industry

denominated
as "physicist"

- ドイツ南部では全労働者の 0.37%、北部では 0.2%が物理学者で、
その内 14%は外国人である。

- 失業中の物理学者は物理学者全体の 2.5%¹に過ぎない。

- (若者はしばしば転職中であり、これは失業中とは区別される)

¹ 訳者注：ドイツの失業率は 5.9% (2017 年 1 月)。これは東西ドイツの統一以降最低失業率で、2005 年には 12%を越える失業率を記録した。物理学者の失業率はドイツ社会全体と比べて非常に低いといえる。

only 2.5 % of physicists are out of jobs at any given time
(young people often in between jobs, not unemployed)

なぜ学校での物理教育が重要なのか？

- 社会が物理学者を必要とするから
 - 堅実な物理教育は様々な分野の専門家育成に欠かせないから
「物理学はあらゆる自然科学の根本である」
 - 次のような社会問題に対し、情報に基いて判断を下す上で、物理学の知識と科学的手法の理解が必要となるから
 - 環境
 - 気候
 - エネルギー
 - 天然資源
 - 健康
 - 現代技術一般
- (特に政策担当者、あるいはニュースやメディアで活動する人々といった、世論を形成する役割を持つ人々にとって)

ゆえに、あらゆる教育段階での高品質な物理教育が重要

未来はどうなる？

A futurologist, asked recently, how the world would look like in 50 years and what skills would be needed, to be prepared, gave this answer:

"the world is getting different faster and in different ways, than we are used to. We do not know how the world in the future will be like. The most important skill for a good life will therefore be to deal successfully with changes.

最近、ある未来学者が「世界はこの先50年でどうなるだろうか、どんなスキルを準備する必要があるだろうか」と質問され、次のように答えた。

In a rapidly changing world, with increasing dominance of technologies and digitization, the world is getting different faster and in different ways, than we are used to. We do not know how the world in the future will be like. The most important skill for a good life will therefore be to deal successfully with changes.

世界は様々な面でこれまでよりも急速に変化している。

我々は次の世紀においてどのようにして変化が訪れるかを知らない。したがって、良い人生のために最も重要なスキルは変化にうまく対応するスキルだろう。

* see also keynote article in Physik Journal 12/2016

未来はどうなる？

技術とデジタル化の優位性が増大すると共に急激な変化を遂げる
この世界において、我々は常に適応する必要がある。

- ・いくつかの点では、生活はより良く、より容易になる。
- ・一方で、気候変動や限られた資源は我々の社会を脅かす。
人々は歯止めが利かなくなることを心配し、変化に脅かされていると感じる。
- ・我々の多くは子ども達や孫達が我々よりも悪い生活を送るのではないかと心配している。
- ・しかし、我々は課題を乗り越えるために積極的かつ先入観に囚われないようにする必要がある。
我々の子ども達はそのために準備する必要がある。

* see also keynote article in Physik Journal 12/2016

未来に向けて子ども達に準備させる

- Children are curious to explore and understand their environment, they are born with the spirit to discover and investigate.
 - Our most important task as educators is to not destroy this curiosity.
 - This challenge is to help children to understand that they need to be prepared to bring across the joy of understanding math and science.
 - And we need to be prepared to bring across the joy of understanding math and science.
- ・ 子ども達は自分達の環境を冒険・理解することに興味がある。
 - ・ 子ども達は発見と探求の精神を持って生まれてくる。
 - ・ 教育の最も重要な仕事は好奇心を殺さないことである。
 - ・ この課題は教育者と教師によって乗り越えられる必要がある。言い換えると、彼らは数学と科学を理解する楽しさを広めるために準備する必要がある。
 - ・ そして、我々はそのような教育者や教師を準備する必要がある。

進学率の爆発的増加

Abbildung II.7: Abiturientenquoten in Baden-Württemberg und in der Bundesrepublik 1950 bis 2000 (in %)

2016年までにバーデン＝ヴュルテンベルク州に住む児童の40%がギムナジウム²に進学している。

また、ハイデルベルクでのギムナジウム進学率は69.5%に達している。(トップ)

しかし、子ども達は成功しているだろうか。

また、どのような科目を選択しているのだろうか。

Quelle: Unveröffentlichtes Material des Projekts „Datenhandbuch zur deutschen Bildungsgeschichte. Die allgemein bildenden Schulen in der Bundesrepublik Deutschland 1949 bis 2000“.

² 記者注：ドイツでは、小学校に相当する基礎学校（Grundschule）に6歳から10歳までの4年間通った後に5+3年の中等教育での進路を選択する。

ギムナジウム（Gymnasium）は大学等への進学を希望する児童のための8年制学校で、例えるなら小学校高学年と中高一貫校を一体化させたものである。

学校の子ども達は科学を選択しているのだろうか？

in states, where there is a choice in grades 8-10 for a STEM centered education, 44% chose science, but only 33% of of female students

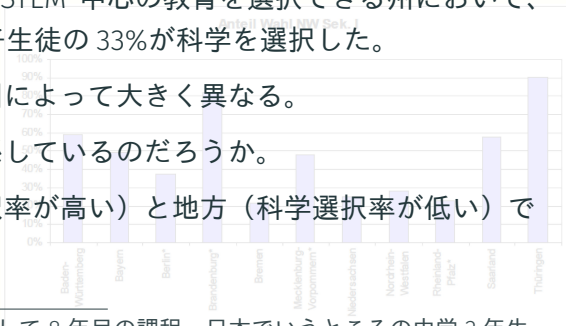
8年生³から10年生にSTEM⁴中心の教育を選択できる州において、生徒全体の44%、女子生徒の33%が科学を選択した。

fraction of science electors between states

科学選択者の比率は州によって大きく異なる。

これは教師教育と関係しているのだろうか。

また、都市（科学選択率が高い）と地方（科学選択率が低い）で違いが見られる。



³ 訳者注：全教育課程を通して8年目の課程。日本でいうところの中学2年生。以下も同様。

⁴ 訳者注：STEMは科学（Science）・技術（Technology）・工学（Engineering）・数学（Mathematics）の略。日本でいうところのいわゆる「理系」に近い意味の言葉で、教育に関する議論で使用される。Abitur (final high school exam) – considered difficult to get good grades

→ room for improvement

学校の子ども達は科学を選択しているのだろうか？

in states, where there is a choice in grades 8-10 for a STEM centered education, 44% chose science, but only 33% of of female students

悪い知らせは、比率はこの2年で減少しており、特に女子の減少が著しいということである。

fraction varies a lot between states

40%の生徒が物理学に属するコースを選択したが、女子生徒内での比率はわずか24%である。

アビトゥーア⁵で物理学を選択した生徒は全体のわずか11%である。

concerned to education of teachers?

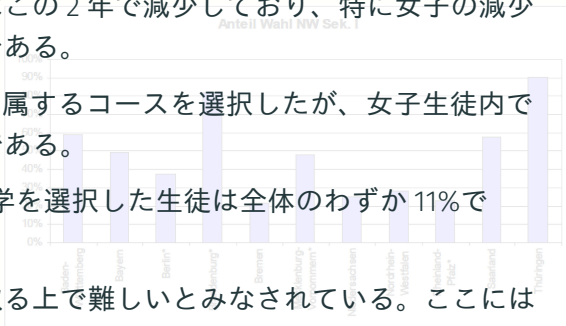
物理学は良い成績を取る上で難しいとみなされている。ここには改善の余地がある。

there is difference between cities (more) and rural areas (less)

the bad news: fraction drops in the last 2 years in school, particularly among girls:

⁵記者注：アビトゥーア (Abitur) はギムナジウムの卒業試験であり、大学への入学資格試験でもある。合格すると、他に試験もなく大学に入学できる。

considered difficult to get good grades

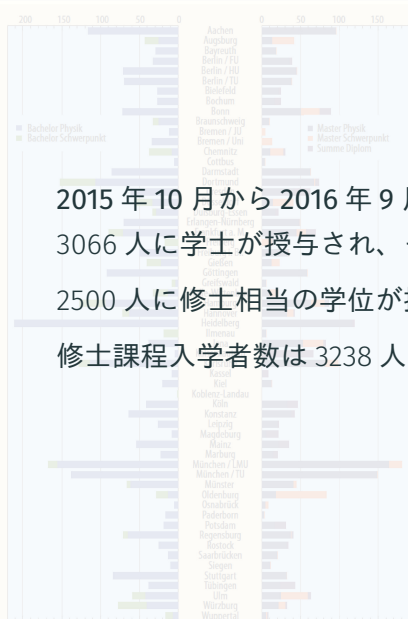


room for improvement

Are we supplying the physicists, society needs?

我々は社会が必要とする物理学者を供給できているだろうか？

ドイツの年間物理学学位取得者数



59 universities awarded between 10/2015 and 9/2016:

3066 bachelor degrees – 15% female

2500 master or equivalent degrees – 17% female

new master enrolments: 3238

2015年10月から2016年9月の間、59大学で：

3066人に学士が授与され、その内15%が女性だった。

2500人に修士相当の学位が授与され、その内17%が女性だった。

修士課程入学者数は3238人だった。

物理教師の重要な役割

ドイツ物理学会では、ギムナジウム卒業生に関する長期の研究を行っている。

その研究結果のひとつは次のようなものである。

教師が物理やSTEM教科一般を入念に準備し、これらの科目を楽しんでいるほど、学生をより楽しませ、より多くの学生が物理（や他のSTEM分野）を大学で研究すると決心するようになる。

*DPG 2010

物理学を学ぶ女子生徒の58%と男子生徒の42%にとって、教師の姿勢や態度が物理学を学ぶ主な動機だった。

優れた思考も周囲から育まれる必要がある

Maryam Mirzakhani, Fields Medal 2014

2014年に史上初の女性フィールズ賞⁶受賞者となった Maryam Mirzakhani は次のように語った。

12歳の頃、自分には数学の才能がないと思っていた。
同級生は誰も「数学なんてダサイ」とは言わなかった。
私にはいつもやる気にさせてくれる先生がいた。

None of my peers said "math is uncool"

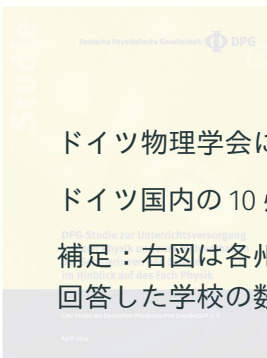
⁶訳者注：フィールズ賞は優れた業績を残した若手数学者の顕彰を目的とした賞で、4年に1度開催される国際数学者会議にて40歳以下の数学者2名から4名に授与される。

年齢制限のないアーベル賞と並んで「数学界のノーベル賞」と呼ばれ、数学者にとって最高の栄誉のひとつといわれている。

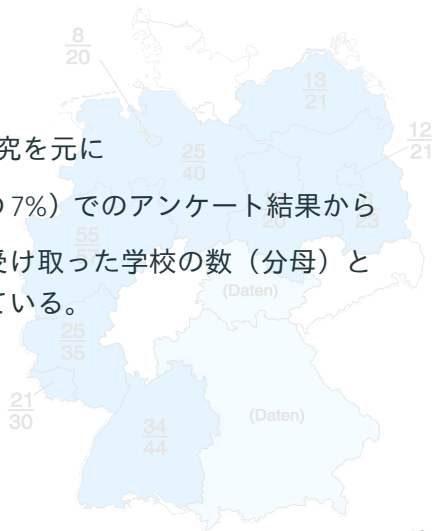
"I always had teachers who

ドイツにおける物理教師の供給と教育

based on a 2014 study by the DPG

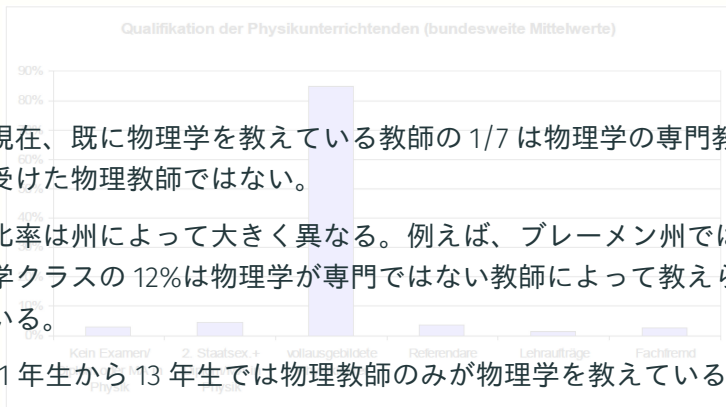


ドイツ物理学会による 2014 年の研究を元に
ドイツ国内の 10 州、204 校（全体の 7%）でのアンケート結果から
補足：右図は各州のアンケートを受け取った学校の数（分母）と
回答した学校の数（分子）を表している。



Questionnaires to 204 schools in
10 german states (7% of high schools)

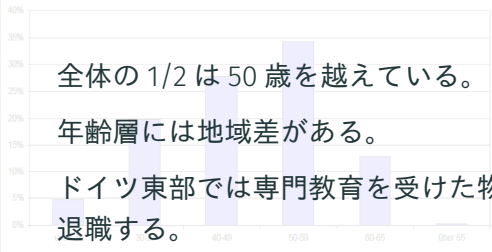
物理学の講師は物理教師として教育されているのだろうか？



- already now 1/7 teachers instructing physics is not a fully educated physics teacher
- huge variations from state to state; in Bremen, 12% of physics classes are taught by teachers, who's subject area is not physics
- in grades 11/12/13 only physics teachers teach physics

物理教師の年齢層

Altersverteilung der Physiklehrkräfte (bundesweite Hochrechnung)



全体の 1/2 は 50 歳を越えている。

年齢層には地域差がある。

ドイツ東部では専門教育を受けた物理教師の 60% が 13 年以内に退職する。

- about 1/2 of the physics teachers are more than age 50
- large regional variation
- in east Germany, 60% of the (well educated) physics teachers will retire in

物理教師の需要はどうだろうか？

校長の 90% が将来における物理教師の必要性は変化しないか増加すると推測している。

What is the demand?
90% of school principals estimate the need in physics teachers in the future unchanged or increasing

Physiklehrer 50 Jahre und älter (prozentualer Anteil)



供給はどうだろうか？

in 2016, 667 students finished education as physics teachers
of these 456 at the high school level

2016年、667人の学生が物理教師養成課程を修了した

その内 456人がギムナジウム教員の課程
at high school level 500 – 700 per year in the coming years

この課程の学位の20%未満

この先、年間500人から700人が退職するのに対して十分かどうかは不透明

もう後がない：物理学を他の科目と合わせて教える

1/3の学校はこのモデルの実践に疑問を抱いているものの、5年生と6年生の大部分および8年生の少数、以降の年度のごく少数で「自然、科学、および技術」の科目を教えている。

この場合、教師は物理教師でなくともよい

この科目の開講率には地域差があり、ブレーメン州では100%、ザクセン＝アンハルト州では0%の学校がこの科目を教えている。

この傾向は潜在的に危険である。

我々は生物教師に物理学を教えてもらいたいだろうか？

この方策は物理教師の不足を隠すものである。

a key component of physics and STEM education!

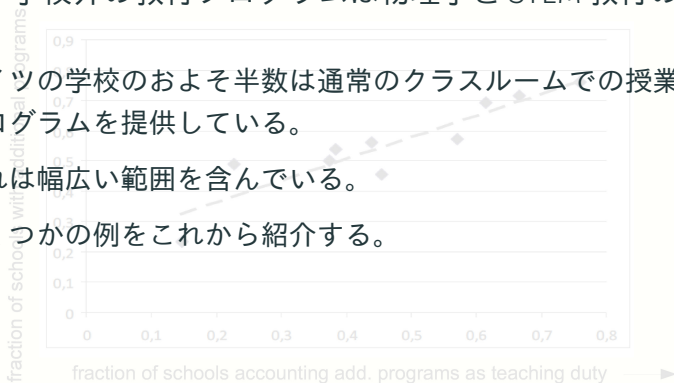
about half the schools in Germany make offers beyond the normal class room instruction - broad spectrum, some examples to follow
the states can influence this

学校外の教育プログラムは物理学と STEM 教育の鍵

ドイツの学校のおよそ半数は通常のクラスルームでの授業以外のプログラムを提供している。

これは幅広い範囲を含んでいる。

いくつかの例をこれから紹介する。



SFZ (Schülerforschungszentren; 学生研究センター)

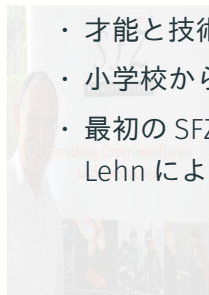


Research centers for school kids

- to further talent and technology
- access for children of all ages from elementary school to high school
- first SFZ founded in 1999 in

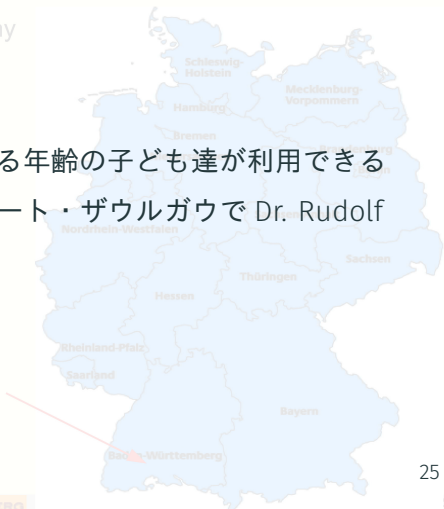
Bad Saulgau in the south west of Germany

生徒のための研究センター



- ・ 才能と技術を磨くため
- ・ 小学校から高校までのあらゆる年齢の子ども達が利用できる
- ・ 最初のSFZはドイツ西部のバート・ザウルガウで Dr. Rudolf Lehn によって開校された

DPG executive committee member
2012 - 2016



SFZ — 現在はドイツ全国規模のネットワークに

8 centers in Baden-Württemberg and more all over Germany

バーデン＝ヴュルテンベルク州に8ヶ所のセンターがあり、他の州にも広がっている。

SFZ では何が行われているのか？

- ・ コンペティションの準備
- ・ ワークショップ
- ・ 研究プロジェクト
- ・ セミナー
- ・ 継続的な教師教育

What is going on at SFZ?
preparation for competitions
workshops
research projects (also commissioned)
seminars
continuing education for teachers

Who is working with the children?
teachers
University professors
experts from industry
retired teachers and experts
students

Who is financing a SFZ?

Support is local to state or region – grass roots states by reducing teaching load in school communities, regional governments, companies, chambers of commerce, donations, sponsorships, partnerships, a lot of volunteer work



SFZ — 現在はドイツ全国規模のネットワークに

8 centers in Baden-Württemberg and more all over Gemany

誰が子ども達と共に活動しているのか？

- ・ 教師
- ・ 大学教授
- ・ 産業界の専門家
- ・ 退職した教師と専門家
- ・ 学生

What is happening at a SFZ?
preparation for competitions
workshops
research projects (also commissioned)
seminars
continuing education for teachers

Who is working with the children?
teachers
University professors
experts from industry
retired teachers and experts
students

Who is financing a SFZ?
Support is local to state or region – grass roots
states by reducing teaching load in school
communities, regional governments,
companies, chambers of commerce, donations,
sponsorships, partnerships, a lot of volunteer work



SFZ — 現在はドイツ全国規模のネットワークに

誰が SFZ の資金を調達しているのか？

8 centers in Baden-Württemberg and more all over Germany

- ・ 地域による草の根活動
- ・ 州
- ・ コミュニティ
- ・ 地方政府
- ・ 企業
- ・ 商工会議所
- ・ 寄付
- ・ スポンサー
- ・ 協賛



What is happening at a SFZ?
preparation for competitions
workshops
research projects (also commissioned)
seminars
continuing education for teachers

Who is working with the children?
teachers
University professors
experts from industry
retired teachers and experts
students

Who is financing a SFZ?
Support is local to state or region – grass roots
states by reducing teaching load in school
communities, regional governments,
companies, chambers of commerce, donations,
sponsorships, partnerships, a lot of volunteer work

- ・ 多くのボランティア活動



高校生のための研究プロジェクトの例

SFZ は 2015 年に 53 の Jugend forscht⁷に向けたプロジェクトを援助した。18 のプロジェクトが優勝し、23 の賞を受け取った。

Marcel Mohn と Marvin Motzet はスマート冷蔵庫で 2015 年に Jugend forscht の技術分野で地区優勝を果たし、リープヘル社と共同で特許を出願した。

In 2015,
53 projects for
Jugend forscht
supported,
18 winners
23 medals

⁷ 訳者注：Jugend forscht（青少年の研究）はドイツの青少年科学コンペティション。21歳未満の生徒・学生（大学生は1年生のみ）が参加できる。また、15歳未満の児童・生徒のための Schüler experimentieren（生徒の実験）部門も存在する。

そして、最年少の子ども達に向けた研究プロジェクトの例

Team 'elementary school': arouse STEM curiosity, develops teaching material for elementary school teachers (who are not university educated)

チーム「小学校⁸」はSTEMへの興味を呼び起こし、
(大学での専門教育を受けていない) 小学校教師のために
教材を開発している。

⁸ 訳者注：ギムナジウムを説明する際にも触れたが、ドイツの初等教育学校は4年制なので、日本の小学校と厳密には異なる。



小学校に通う子ども達のための物理学

2012 Georg Kerschensteiner Preis of the DPG for
Christian Heilshorn, Raabeschule, Braunschweig

Physics for Bright Minds (有望な知性の物理学)

9年生と10年生の生徒が小学校に行き、
実験とデモンストレーションを多く交えながら
物理学の基礎的で楽しいコンセプトを教える。

例えば、光学なら光・色・スペクトル・鏡・反射など。

当面の間、プログラムはニーダーザクセン州全域で開講される。

in the mean time, program is open to schools all
over the state of Niedersachsen

補足：アドベント (Advent) は西欧を中心としたキリスト教諸派の暦に存在する期間。クリスマス前のおよそ1ヶ月を指す。

PiA は5年生から10年生の子供向けの、簡単に入手できる道具や素材を使って家庭で実践できる24の実験⁹である。

毎日それぞれの実験の説明がYouTubeで配信され、翌日に解答が配信される。

多くの賞や楽しいアニメーションがあり、現在はドイツ語だけでなく英語でも配信されている。

⁹訳者注：アドベントには12月1日から12月24日までの日付が書かれている窓が付いたカレンダーを用意して、その日が来たら窓を開けて中にある絵・詩・お菓子等を楽しむ習慣がある。PiAはそれにちなんだもの。

PiA (Physics in Advent; アドベントに物理学を)

PiA Physics
in Advent

23 400 registered participants from 20 countries
more than 1 million visitors
more than 50% of the participants and facebook friends female!

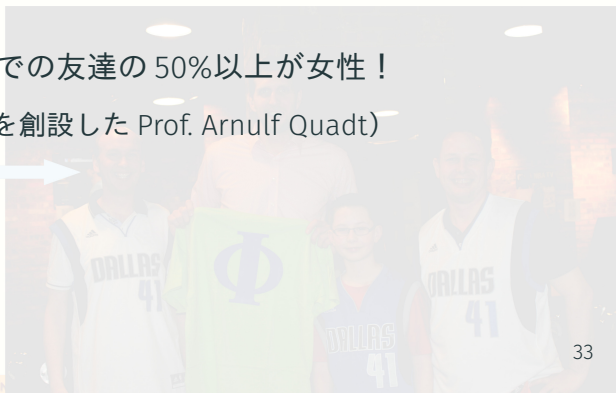
20ヶ国から 23,400 人の登録参加者

100 万人以上の閲覧者

参加者と Facebook での友達の 50%以上が女性！

(写真左の人物が PiA を創設した Prof. Arnulf Quadt)

and this is the guy who
created it with his team
Prof. Arnulf Quadt
DPG executive
committee member
2014-2018



IYPT (International Young Physicist Tournament; 国際若手物理学者トーナメント)

organized by Yevgeny Yunosov in 1979, first tournament in Moscow in 1988, since then every year in another city and continent

- 5-member teams solve 17 problems with unknown solutions, all ways to solve are fine, often experiments in consultation with experts, theoretical solutions are fine
- IYPT は 1979 年に Yevgeny Yunosov が考案し、1988 年のモスクワ大会以来、毎年異なる都市や大陸で開催されている。
- Solutions are presented in a tournament, other teams challenge a team that presents it's solution
- Teams from 45 countries participating

IYPT は 5 人のチームで 17 の問題に取り組むもので、実験、専門家との相談、理論など、どのような切り口で解いても構わない。

解法が提出されると、他のチームは解法を提出したチームに挑戦する。

45 ヶ国からチームが参加しているが、日本からのチームは今までのところいない。

Problem 17 of the 2005 tournament. 'Crazy Suitcase'

Imagine a two wheeled suitcase, it can under certain circumstances be so strongly from side to side that it can turn over.

- Investigate this phenomenon. - Can you support quantitatively the effect by varied packing of the luggage?

GYPT (German Young Physicist Tournament; ドイツ若手物理学者トーナメント)

GYPT のきっかけは 2012 年の IYPT ドイツ大会であった。

ドイツ物理学会は当大会において、韓国から 100 チームが準備しているのに対して、ドイツからはわずか 1 チームしか準備していない事実を目の当たりにした。

優勝ではなく、1 年間の準備プロセスが鍵である。

そこでひとつのアイデアが生まれた。それは予選大会、すなわち GYPT である。

GYPT の目標はドイツから最低 10 チームを準備することである。

第 1 回 GYPT は 2014 年に開催され、2017 年には 13 の予選会場で 32 チームがドイツ代表チーム選考のために競い合った。

initiated by Prof. Metin Tolan and Dr. Rudolf Lehn,
funded by the Wilhelm & Else Heraeus Foundation

学校外の教育プログラムは特に女子を惹き付ける

2015年のIYPTタイ大会において、ドイツ代表チームの大多数は女性であった。

German national team for the IYPT 2015 in Thailand 36

Highlights of Physics (物理学のハイライト)

・ 1週間にわたる物理学の祭典

・ ドイツ国内にある中規模の都市で毎年開催

・ 平均して 35000 人以上の来場者、大部分は学校から

・ 主な内容：

・ 専門家が用意したハンズオン展示

・ 野外ステージでのショー

・ ライブ実験

・ アインシュタイン・スラム¹⁰

・ 著名物理学者の講演

・ 学生チームのコンペティション

・ 大規模なイブニング・ショー

¹⁰ 訳者注：アインシュタイン・スラム (Einstein Slam) は 10 分間等の短時間で科学に関する事柄を面白く紹介するイベント。登壇者は一般公募される。

どの取り組みも素晴らしい物理教師を必要としている

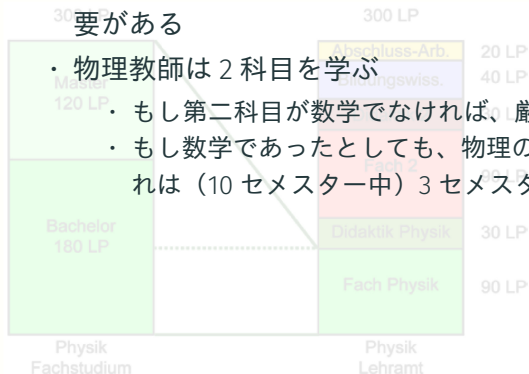
How can we get the most gifted young people to become physics teachers again? Also math and other sciences of course...

どのようにすれば最も才能にあふれる若者を再び物理教師の道に進ませることができるだろうか？

もちろん、数学や他の科学にも……。

物理教師の養成に関する考え

- Physics teachers need very good physics background in their education
 - on the other hand, we need to be judicious about the amount and the formal mathematical training
 - Physics teachers study 2 subjects
 - if the second subject is not mathematics, this will be tough even if it is, the number of credit points for physics is only 90, equivalent to 3 semesters full-time
- ・ 物理教師は物理の非常に良いバックグラウンドを必要とする。
他方で、我々は量と正式な数学の訓練について賢明である必要がある



・ 物理教師は 2 科目を学ぶ

- ・ もし第二科目が数学でなければ、厳しいことになる
- ・ もし数学であったとしても、物理の単位数はたった 90 で、これは (10 セメスター中) 3 セメスター分全部に等しい

物理教師の養成に関する考え

- Need to custom tailor the curriculum and (at least part of) the courses specifically for future teachers
 - High quality didactic training of young teachers
 - At what stage in their education should a student have to decide for the teaching profession? Maybe right after high school is too early?
 - We need a high quality education for the teaching profession at various stages and vice versa
 - ・カリキュラムと課程（の少なくとも一部）を教師養成に特化して仕立てる必要
 - ・物理の教授法と教育学的観点の高品質な教育
 - ・学生は教育のどの段階で教職を志望する必要があるか？
 - ギムナジウム直後は早すぎるのか？
 - ・教職課程への移籍（及びその逆）を許す明確なシステムが必要
- 教師の供給に対する危機を回避すべく、教育学の追加講習は特別（奨学金）プログラムから提供

Thank you for your attention

ご清聴ありがとうございました

追加資料

追加資料

